

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 882 549**

51 Int. Cl.:

**B60L 15/02** (2006.01)

**H02P 21/00** (2006.01)

12

## TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **30.07.2013 PCT/IB2013/056261**

87 Fecha y número de publicación internacional: **06.02.2014 WO14020542**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.07.2013 E 13777131 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.05.2021 EP 2879902**

54 Título: **Control optimizado del funcionamiento de uno o más sistemas de tracción de un tren para entrar y salir de una condición de marcha por inercia**

30 Prioridad:

**30.07.2012 IT TO20120674**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

**02.12.2021**

73 Titular/es:

**HITACHI RAIL S.P.A. (100.0%)**

**Via Argine 425**

**80147 Napoli, IT**

72 Inventor/es:

**NAPPO, CIRO;**

**ACCARDO, LUIGI;**

**MUNGIGUERRA, VINCENZO;**

**VOCCIA, FABIO y**

**NAVARRA, GUGLIELMO**

74 Agente/Representante:

**ARIAS SANZ, Juan**

ES 2 882 549 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

## DESCRIPCIÓN

Control optimizado del funcionamiento de uno o más sistemas de tracción de un tren para entrar y salir de una condición de marcha por inercia

**Campo técnico de la invención**

La presente invención se refiere al control y la gestión del funcionamiento de uno o más sistemas de tracción de un tren o vehículo ferroviario cuando se produce una denominada condición de marcha por inercia o de marcha con rueda libre de dicho tren o vehículo ferroviario, es decir, cuando se desactiva el accionamiento de las ruedas motrices del tren o vehículo ferroviario por el sistema o sistemas de tracción.

En particular, la presente invención se aplica ventajosamente, pero no exclusivamente, al control y gestión del funcionamiento de sistemas de tracción de trenes o vehículos ferroviarios, sistemas de tracción que incluyen motores eléctricos asíncronos que se hacen funcionar por sistemas de accionamiento electrónico de tipo inversor, o motores eléctricos de corriente continua (CC) que se hacen funcionar por sistemas de accionamiento electrónico de tipo troceador (del inglés, *chopper*).

A este respecto, se hará referencia explícita en la siguiente descripción al control y la gestión del funcionamiento de un sistema de accionamiento de tipo inversor usado para hacer funcionar un motor eléctrico asíncrono usado para la tracción de un vehículo ferroviario sin, por lo tanto, perder generalidad, entendiéndose que la presente invención puede usarse igualmente para controlar y gestionar el funcionamiento de un sistema de accionamiento de tipo troceador usado para hacer funcionar un motor eléctrico de CC síncrono (es decir, no del tipo de imán permanente) usado para la tracción de un vehículo ferroviario o, más en general, para el control y la gestión del funcionamiento de uno o más sistemas de tracción basados en motores eléctricos que no son del tipo de imán permanente de ningún tipo de tren o vehículo ferroviario.

Además, cabe señalar que la presente invención puede aprovecharse ventajosamente para controlar y gestionar el funcionamiento de una pluralidad de sistemas de tracción de cualquier tipo de tren.

**Estado de la técnica**

Se conocen técnicas de control del flujo magnético de motores eléctricos de imán permanente. Por ejemplo, la solicitud de patente europea EP 2 048 772 A1 describe un sistema que incluye: un motor eléctrico basado en un imán permanente; un inversor para accionar dicho motor eléctrico; y medios de magnetización para generar una corriente de magnetización para controlar el flujo magnético del imán permanente. Dicho imán permanente es un imán de flujo variable en el que la densidad de flujo varía en función de una corriente de magnetización suministrada por el inversor. Los medios de magnetización generan una corriente de magnetización que excede una región de saturación de magnetización del material magnético del imán de flujo variable en uso. Dicho sistema según el documento EP 2 048 772 A1 permite mejorar la repetibilidad de flujo del imán de flujo variable y la precisión del par de fuerzas de motor eléctrico.

Además, la solicitud de patente europea EP 2 192 684 A1 describe un sistema que incluye: un motor eléctrico de flujo magnético variable que tiene un motor eléctrico de flujo variable, que es un imán permanente de baja coercitividad; un inversor que acciona dicho motor eléctrico de flujo magnético variable; una unidad de magnetización para generar una corriente de magnetización y controlar el flujo magnético del imán de flujo variable; y una unidad de refuerzo para aumentar una tensión de CC de entrada a un valor objetivo predeterminado y suministrarla al inversor. Dicho sistema según el documento EP 2 192 684 A1 permite obtener una reducción de tamaño y una alta eficiencia, garantizando la tensión necesaria para suministrar la corriente de magnetización durante el control de flujo magnético del imán de flujo variable al mismo tiempo.

Además, la solicitud de patente japonesa JP 2001 103610 A describe técnicas para gestionar y controlar el flujo magnético de un motor de imán permanente en un motor híbrido con el fin de limitar la tensión sin carga de motor a alta velocidad y la corriente de carga de la batería.

Como se conoce, en el campo ferroviario, el consumo de energía de un vehículo ferroviario durante el funcionamiento normal está estrechamente relacionado con las condiciones operativas de los componentes principales, en particular del sistema de tracción, cuyas funciones, características y rendimiento dependen estrechamente de los algoritmos de control respectivos usados.

Actualmente, durante una fase de marcha por inercia de un tren, cuya tracción consiste en un motor eléctrico asíncrono que se hace funcionar por medio de un inversor, dicho motor eléctrico sigue experimentando un flujo magnético en todos los casos, con las consiguientes pérdidas, debido solo a la corriente de magnetización, tanto en el inversor como en el propio motor.

Tales pérdidas aumentan a medida que aumenta la velocidad para sumar hasta casi el 50 % de las pérdidas que se

producen a plena potencia para vehículos de tracción pesados.

La figura 1 muestra un diagrama de bloques funcional que representa una arquitectura típica de una unidad de control (indicada en su conjunto por el número 10) del funcionamiento de un inversor usado para hacer funcionar un motor eléctrico asíncrono usado para la tracción de un tren.

En particular, como se muestra en la figura 1, la unidad de control 10 está diseñada para recibir datos y/o señales de entrada indicativos de:

- una tensión de filtro  $vFIL$  indicativa de la tensión de filtro de entrada;
- una referencia de esfuerzo  $tasaRefln$  (generada convenientemente por una unidad de control maestra de funcionamiento del tren, que no se muestra en la figura 1 por motivos de simplicidad de la ilustración);
- un peso del *bogie* local del tren  $cargaX$ ;
- un peso del *bogie* no motorizado del tren  $cargaC$ ;
- una frecuencia de revolución eléctrica  $fmot$  del rotor del motor eléctrico asíncrono;
- una aceleración  $dfmot$  de la frecuencia de revolución del rotor del motor eléctrico asíncrono; y
- una velocidad de tren  $VelocidadCoche$  (calculada convenientemente por una unidad de control de velocidad de tren, que no se muestra en la figura 1 por motivos de simplicidad de la ilustración).

Convenientemente, la unidad de control 10 está conectada al bus de vehículo multifuncional (MVB) del tren para recibir datos y/o señales de entrada indicativos de la referencia de esfuerzo  $tasaRefln$ , del peso del *bogie* local  $cargaX$  y del peso del *bogie* no motorizado  $cargaC$ .

En particular, la unidad de control 10 mostrada en la figura 1 incluye un módulo de cálculo de par de fuerzas de referencia 11, que está diseñado para:

- recibir datos y/o señales de entrada indicativos de la tensión de filtro  $vFIL$ , de la referencia de esfuerzo  $tasaRefln$ , del peso del *bogie* local  $cargaX$ , del peso del *bogie* no motorizado  $cargaC$  y de la frecuencia de revolución  $fmot$  del rotor del motor eléctrico asíncrono; y
- calcular un primer valor de referencia de par de fuerzas  $ParReq$  del motor eléctrico asíncrono basándose en las señales/datos recibidos.

Como se conoce, la frecuencia de revolución del eje del rotor del motor eléctrico se mide por medio de sensores de velocidad apropiados y el par de fuerzas del motor eléctrico se mantiene constante hasta que se alcanza una potencia máxima. Cuando aumenta la frecuencia de revolución del motor eléctrico, el par de fuerzas disminuye para mantener la potencia constante. Por lo tanto, la potencia aumenta de manera lineal a la potencia máxima y luego permanece constante y en algunos casos se reduce a frecuencias más altas.

Además, la unidad de control 10 incluye también un módulo de control de desplazamiento o deslizamiento 12, que está diseñado para:

- recibir datos y/o señales de entrada indicativos de la frecuencia de revolución  $fmot$  del motor eléctrico asíncrono, de la aceleración de la frecuencia de revolución  $dfmot$  del motor eléctrico asíncrono y de la velocidad de tren  $VelocidadCoche$ ;
- recibir señales y/o datos indicativos del primer valor de referencia  $ParReq$  del par de fuerzas de accionamiento del motor eléctrico asíncrono desde el módulo de cálculo de par de fuerzas de referencia 11; y
- calcular un segundo valor de referencia de par de fuerzas  $ParAsk$  del motor eléctrico asíncrono basándose en las señales/datos recibidos.

Además, la unidad de control 10 incluye también un módulo de cálculo de flujo de referencia 13, que está diseñado para:

- recibir datos y/o señales de entrada indicativos de la tensión de filtro  $vFIL$ ;
- también recibir datos y/o señales de entrada indicativos de una frecuencia de suministro  $freal$  del motor eléctrico asíncrono; y

• calcular un valor de referencia  $F_d$  del flujo magnético del motor eléctrico asíncrono basándose en las señales/datos recibidos.

En particular, el módulo de cálculo de flujo de referencia 13, en uso, calcula un valor de referencia para el flujo magnético del rotor del motor eléctrico que se mantiene hasta que se alcanza un valor de tensión máximo en los terminales de motor (modo de seis etapas o modo de onda cuadrada). En detalle, en el modo de seis etapas, el flujo magnético disminuye  $1/f_{real}$ , donde  $f_{real}$  es, como se describió anteriormente, la frecuencia de suministro fundamental del motor. Si el tren comienza desde una parada, el par de fuerzas comienza a aumentar cuando el valor de flujo magnético alcanza el 20 % de un valor nominal predeterminado. Normalmente, el 20 % del valor de flujo magnético nominal se alcanza en 100 ms.

De nuevo con referencia a la figura 1, la unidad de control 10 incluye también un módulo de control de vector inversor 14, que está diseñado para:

• recibir datos y/o señales de entrada indicativos del valor de referencia de flujo magnético  $F_d$  del motor eléctrico asíncrono y del segundo valor de referencia de par de fuerzas de accionamiento  $ParAsk$  del motor eléctrico asíncrono desde el módulo de cálculo de flujo de referencia 13 y desde el módulo de control de desplazamiento/deslizamiento 12, respectivamente; y

• calcular, basándose en las señales/datos recibidos,

- un valor de referencia de la componente directa  $i_{Drif}$  de la corriente de control del inversor, de manera que se provoque que el flujo magnético del motor eléctrico asíncrono asuma el valor de referencia  $F_d$  mencionado anteriormente,

- un valor de referencia de la componente de cuadratura  $i_{Qrif}$  de la corriente de control del inversor, de manera que se provoque que el flujo magnético del motor eléctrico asíncrono asuma el segundo valor de referencia  $ParAsk$  mencionado anteriormente, y

- una frecuencia de desplazamiento  $f_s$  necesaria para obtener el par de fuerzas requerido.

Como se muestra en la figura 1, la frecuencia de suministro  $f_{real}$  del motor asíncrono se obtiene añadiendo la frecuencia de desplazamiento  $f_s$  a la frecuencia de revolución  $f_{mot}$  del rotor.

Además, la unidad de control 10 incluye también un convertidor de corriente/tensión (I/V) 15, que está diseñado para:

• recibir señales/datos de entrada indicativos de los valores de referencia del componente directo  $i_{Drif}$  y del componente de cuadratura  $i_{Qrif}$  de la corriente de control del inversor desde el módulo de control del vector inversor 14;

• recibir también datos y/o señales de entrada indicativos de la frecuencia de suministro  $f_{real}$ ; y

• calcular, basándose en las señales/datos recibidos,

- un valor de referencia de la componente directa  $v_D$  de la tensión de control del inversor, y

- un valor de referencia de la componente de cuadratura  $v_Q$  de la tensión de control del inversor.

De nuevo con referencia a la figura 1, la unidad de control 10 incluye también un módulo de cálculo de valor de modulación 16, que está diseñado para:

• recibir datos y/o señales de entrada indicativos de la tensión de filtro  $v_{FIL}$ ;

• recibir señales/datos de entrada indicativos del valor de referencia de la componente directa  $v_D$  y de la componente de cuadratura  $v_Q$  de la tensión de control del inversor desde el convertidor de I/V 15; y

• calcular, basándose en la señal/datos recibidos, un valor del índice de modulación  $\eta$  definido como la relación entre la raíz de media cuadrática (rms) de la tensión de salida del inversor y la raíz de media cuadrática de la tensión de salida en modo de seis etapas para el que  $\eta$  es igual a uno (es decir,  $\eta=1$ ); dicha relación tiene en cuenta la tensión de filtro  $v_{FIL}$ .

En particular, el valor del índice de modulación  $\eta$  se calcula mediante el módulo de cálculo de valor de modulación 16 según la siguiente ecuación:

$$\eta = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{\sqrt{vD^2 + vQ^2}}{vFIL}.$$

Finalmente, la unidad de control 10 incluye también un modulador 17, que está diseñado para:

- 5 • recibir datos y/o señales de entrada indicativos de la frecuencia de suministro *freal*;
- recibir el valor del índice de modulación *eta* del módulo de cálculo de valor de modulación 16; y
- 10 • generar, basándose en las señales/datos recibidos, tres fases de órdenes *faseA*, *faseB* y *faseC* para hacer funcionar apropiadamente el inversor, es decir, de manera que haga que dicho inversor haga funcionar el motor eléctrico trifásico asíncrono de modo que el flujo magnético de dicho motor asuma el valor de referencia *Fd* y el par de fuerzas de dicho motor asuma el segundo valor de referencia *ParAsk*.

15 Actualmente, en la mayoría de los casos, cuando la unidad de control 10 recibe una orden de marcha por inercia desde el sistema de monitorización y control de tren, la curva de esfuerzo se lleva a cero siguiendo una rampa que limita la sacudida máxima para la comodidad del pasajero, en la que la sacudida es la derivada de la aceleración. Durante esta fase, la corriente de referencia disminuye solo al valor de corriente de magnetización; en este punto, la corriente de referencia permanece constante hasta que la unidad de control 10 recibe otra orden de la unidad de control maestra de funcionamiento del tren. Dicho de otro modo, el inversor permanece encendido siempre que persista la condición de marcha por inercia.

25 En particular, las operaciones descritas anteriormente se implementan por la unidad de control 10 por medio de una lógica de software adecuada. A este respecto, la figura 2 es un diagrama de flujo que representa un ejemplo de lógica de control de software de funcionamiento del inversor (indicada por el número de referencia 20 en su conjunto) por medio de la cual, también en presencia de la condición de marcha por inercia de un tren, el inversor permanece siempre encendido.

30 En detalle, como se muestra en la figura 2, la unidad de control 10, al implementar la lógica de control 20, realiza en uso las siguientes operaciones:

- calcular un valor de flujo magnético de onda cuadrada *Fdoq* del motor eléctrico asíncrono basándose en las señales y/o datos indicativos de la tensión de filtro *vFIL* y de la frecuencia de suministro *freal* del motor asíncrono (bloque 21);
- 35 • calcular un valor objetivo de referencia de flujo magnético *FdRif* del motor eléctrico asíncrono basándose en el valor de flujo magnético de onda cuadrada *Fdoq* y de un valor nominal de flujo magnético predeterminado *FdNom* (bloque 22);
- controlar el funcionamiento del inversor de modo que el motor eléctrico experimente un aumento de flujo magnético, es decir, de modo que aumente la intensidad del flujo magnético, y al mismo tiempo calcular un valor de corriente *Fd* del flujo magnético del motor eléctrico en función del valor objetivo de referencia *FdRif* (bloque 23);
- 40 • comprobar si el valor de flujo magnético de corriente *Fd* es superior al 20 % del valor objetivo de referencia *FdRif* (bloque 24);
- 45 • si el valor de corriente *Fd* del flujo magnético es superior al 20 % del valor de referencia objetivo *FdRif*, generar una orden de liberación de la rampa de par de fuerzas de motor eléctrico (bloque 25), es decir, de modo que el par de fuerzas de motor comienza a aumentar; mientras que,
- 50 • si el valor de corriente *Fd* del flujo magnético no es superior al 20 % del valor objetivo de referencia *FdRif*, continuar controlando el funcionamiento del inversor de modo que el motor eléctrico continúe experimentando un aumento de flujo magnético y continúe calculando el valor de corriente *Fd* del flujo magnético del motor eléctrico al mismo tiempo (bloque 23).

55 Más en detalle, la unidad de control 10 hace que se asuma el valor objetivo de referencia de flujo *FdRif* (bloque 22):

- el valor de flujo de onda cuadrada *Fdoq*, si este último es menor que el valor de flujo nominal *FdNom* (es decir,  $FdRif = Fdoq$  si  $Fdoq < FdNom$ ); o
- 60 • el valor nominal *FdNom*, si el valor de flujo de onda cuadrada *Fdoq* es mayor que dicho valor nominal *FdNom* (es decir,  $FdRif = FdNom$  si  $Fdoq > FdNom$ ).

Como se mencionó anteriormente, mediante el uso de la lógica 20, el inversor permanece encendido también en presencia de una condición de marcha por inercia de un tren. Por lo tanto, por medio de la lógica de control 20, el

motor eléctrico siempre experimenta un flujo magnético con las consiguientes pérdidas, debido solo a la corriente de magnetización, tanto en el inversor como en el propio motor.

A este respecto, la figura 3 muestra un gráfico que se obtuvo por el solicitante por medio de pruebas experimentales y que muestra la tendencia temporal de las magnitudes características de un motor eléctrico asíncrono de un tren que se hace funcionar por medio de un inversor controlado con la lógica 20 cuando se produce una condición de marcha por inercia del tren.

En particular, la figura 3 muestra la tendencia temporal:

- de la corriente extraída de la línea *iLin*;
- de la tensión de filtro *vFIL*;
- de la corriente consumida por el motor *Imot*;
- de la velocidad de tren *velocidad*;
- del par de fuerzas de motor *Par*; y
- de la corriente de referencia *IRif* calculada por la unidad de control 10.

El gráfico de la figura 3 muestra cómo, durante la marcha por inercia del tren, el valor de par de fuerzas de motor *Par* es cero, mientras que la corriente extraída de la línea *iLin*, el valor de corriente de referencia *IRif* y el valor de corriente del motor *Imot* no son cero. Dicho de otro modo, con la lógica de control 20, el motor consume energía incluso cuando no genera par de fuerzas.

Una lógica de control más evolucionada incluye, durante la marcha por inercia, apagar el inversor y desactivarlo durante 1 segundo. A este respecto, la figura 4 es un diagrama de flujo que muestra un ejemplo de lógica de control de software de funcionamiento del inversor (indicada por el número de referencia 40 en su conjunto) por medio de la cual el inversor se apaga y se desactiva durante 1 s, en presencia de la condición de marcha por inercia de un tren.

En particular, como se muestra en la figura 4, al implementar la lógica de control 40, la unidad de control 10 en uso realiza todas las operaciones de la lógica 20 descrita anteriormente (a este respecto, cabe señalar que los bloques 41, 42, 43, 44 y 45 de la lógica 40 mostrada en la figura 4 corresponden a los bloques 21-25 de la lógica 20 mostrada en la figura 2) que, por lo tanto, no se describirá de nuevo porque se aplica la descripción anterior.

Además, la unidad de control 10, al implementar la lógica de control 40, también realiza en uso las siguientes operaciones:

- comprobar, basándose en las órdenes/señales/datos recibidos indicativos de una condición de funcionamiento actual del tren, si el tren está en una condición de marcha por inercia (bloque 46);
- si el tren no está en una condición de marcha por inercia, controlar el funcionamiento del inversor de modo que el motor eléctrico continúe experimentando un aumento de flujo magnético y calcular el valor de flujo magnético de corriente *Fd* del motor eléctrico al mismo tiempo (bloque 43); mientras que,
- si el tren está en una condición de marcha por inercia, generar una orden de apagado del inversor y desactivarlo durante 1 s (bloque 47).

A este respecto, la figura 5 muestra un gráfico que se obtuvo por el solicitante por medio de pruebas experimentales y muestra la tendencia temporal de las magnitudes características de un motor eléctrico asíncrono de un tren que se hace funcionar por medio de un inversor controlado con la lógica 40 cuando se produce una condición de marcha por inercia del tren.

En particular, la figura 5 muestra la tendencia temporal:

- de la corriente extraída de la línea *iLin*;
- de la corriente de motor *Imot*;
- de la velocidad de tren *velocidad*;
- del par de fuerzas de motor *Par*; y
- de la corriente de referencia *IRif*.

El gráfico de la figura 5 muestra cómo, durante la marcha por inercia del tren, el valor de par de fuerzas de motor *Par*, la corriente extraída de la línea *iLin*, el valor de corriente de referencia *IRif* y la corriente del motor *Imot* son cero. Dicho de otro modo, con la lógica de control 40, el motor no consume energía cuando genera par de fuerzas.

Sin embargo, la lógica de control 40, aunque reduce las pérdidas provocadas por la corriente de magnetización en el inversor y en el motor, muestra la limitación de desactivación del inversor durante 1 s. Una limitación de este tipo es muy difícil porque puede provocar un retraso en el funcionamiento del motor. Por ejemplo, debe usarse el frenado mecánico si la unidad de control 10 recibe una orden de frenado durante el período de desactivación del inversor, es decir, debe hacerse funcionar el sistema de frenado neumático o hidráulico, lo que provoca un aumento de la distancia de parada del tren y un consumo anómalo de las pastillas de freno, así como posibles problemas de comodidad para los pasajeros. Por lo tanto, debido a las desventajas mencionadas anteriormente, rara vez se usa la lógica de control 40. En particular, la lógica de control 40 no puede aplicarse a tranvías y vehículos de tren subterráneos precisamente debido a las desventajas mencionadas anteriormente.

Además, el documento US 2007/138995 A1 da a conocer un método para mantener una tensión continua en la entrada de un convertidor de tensión de CC/CA con el fin de mantener un motor asíncrono en un estado magnetizado, estando la entrada del convertidor conectada a un bus de suministro de CC de un vehículo eléctrico; dicho método comprende, en un modo de rueda libre durante el cual el vehículo marcha por inercia y el bus se desconecta de una catenaria: a) una etapa para magnetizar el motor, luego b) una etapa para hacer funcionar el motor como un generador de tensión alterna, luego c) una etapa para detener el convertidor cuando la tensión continua del bus alcanza un umbral superior, luego d) una etapa para mantener el convertidor en el estado inactivo siempre que la tensión continua del bus permanezca más alta que una tensión de magnetización directa mínima del motor asíncrono. Además, el vehículo puede conmutar entre dicho modo de rueda libre, un modo de tracción y un modo de frenado reostático.

Además, el documento EP 2 048 772 A1 da a conocer un sistema de accionamiento de motor de flujo magnético variable que incluye un motor de imán permanente que tiene un imán permanente, un inversor para accionar el motor de imán permanente, y magnetizar medios para pasar una corriente de magnetización para controlar el flujo del imán permanente. El imán permanente es un imán variable cuya densidad de flujo es variable dependiendo de una corriente de magnetización del inversor. Los medios de magnetización pasan una corriente de magnetización que está sobre una zona de saturación de magnetización de material magnético del imán variable.

Adicionalmente, US 2011/130903 A1, que se refiere a una estructura de orden de par de fuerzas para un motor eléctrico, da a conocer un método para controlar una unidad de generador de motor (MGU) a bordo de un vehículo; en el que se genera una señal de evento usando un controlador de transmisión, prediciendo la señal de evento un evento de vehículo transitorio, por ejemplo, arranque automático, cambio de transmisión, ciclos de combustible, etc. La señal de evento se recibe por un controlador de motor, que determina un nivel predicho de par de fuerzas de salida de motor requerido de la MGU durante el evento de vehículo transitorio. El flujo electromagnético de la MGU se aumenta a un nivel umbral calibrado antes del comienzo del evento de vehículo transitorio. La MGU puede usarse para regenerar energía durante el evento de vehículo transitorio. La MGU se usa entonces para facilitar la ejecución del evento de vehículo transitorio. Un vehículo que tiene la MGU usa un controlador para aumentar automáticamente el flujo electromagnético de la MGU antes del evento de vehículo transitorio usando el método como se indicó anteriormente.

Además, el documento JP 2001 103610 A, que se refiere a un vehículo híbrido, resuelve problemas para un coche híbrido en el que se monta una batería; es decir, si se usa un motor-generador como generador de tipo imán permanente, la eficiencia disminuye debido al control de campo debilitado en una región de alta revolución y si se usa como motor-generador de inducción, un rendimiento de generación de potencia disminuye en una región de alta revolución. El documento JP 2001 103610 A proporciona la siguiente solución: el rotor del motor-generador de un coche híbrido comprende una pluralidad de conductores secundarios y una pluralidad de imanes permanentes, dispuestos en el lado de circunferencia interno de los conductores secundarios. El funcionamiento de un campo magnético rotatorio en relación con la rotación del rotor se conmuta entre el funcionamiento asíncrono y el funcionamiento síncrono.

Además, el documento EP 2 192 684 A1 da a conocer un sistema de accionamiento de motor de flujo magnético variable, que incluye: un motor de flujo magnético variable que tiene un imán variable que es un imán permanente de baja coercitividad; un inversor que acciona el motor de flujo magnético variable; un inversor como unidad de magnetización que suministra una corriente de magnetización para controlar un flujo magnético del imán variable; y una unidad de refuerzo que aumenta una tensión de CC de entrada a un valor objetivo predeterminado para emitirla al inversor.

Finalmente, el documento EP 2 322 374 A1 se refiere a un dispositivo de conversión de potencia. En particular, según el documento EP 2 322 374 A1, basándose en información de rotación de una máquina síncrona detectada por medios de detección de información de rotación, los medios de control provocan que un convertidor refuerce la tensión de carga de un condensador para que sea mayor que una tensión inducida generada por la máquina síncrona en el momento del desplazamiento a una operación de marcha por inercia, mantienen la tensión de carga durante la

operación de marcha por inercia, y realizan un control de campo débil de modo que la tensión inducida generada por la máquina síncrona sea menor que una tensión de CC en el momento del desplazamiento de la operación de marcha por inercia a una operación de funcionamiento de potencia o a una operación regenerativa.

## 5 Objeto y sumario de la invención

El objeto de la presente invención es proporcionar una lógica de control y gestión del funcionamiento de un sistema de accionamiento electrónico de un motor eléctrico usado para la tracción de un tren o vehículo ferroviario, cuya lógica es capaz de mitigar dichas desventajas, al menos en parte.

En particular, un primer objeto de la presente invención es proporcionar una lógica de control y gestión de la operación de un sistema de accionamiento electrónico de tipo inversor o troceador para un motor eléctrico no del tipo de imán permanente usado para la tracción de un vehículo ferroviario, cuya lógica permite ahorrar energía durante una fase de marcha por inercia (o de marcha con rueda libre) del vehículo ferroviario.

Además, un segundo objeto de la presente invención es el de proporcionar una lógica de control y gestión del funcionamiento de una pluralidad de sistemas de accionamiento electrónico de tipo inversor o troceador para motores eléctricos usados para la tracción del tren, cuya lógica permite ahorrar energía durante la circulación a velocidad constante del tren.

Los objetos mencionados anteriormente se alcanzan por la presente invención porque se refiere a un tren de tracción distribuida, como se define en las reivindicaciones adjuntas.

## Breve descripción de los dibujos

Para una mejor comprensión de la presente invención, algunas realizaciones preferidas de la misma se ilustrarán solo a modo de ejemplo no limitativo, y con referencia a los dibujos adjuntos (no a escala), en los que:

- la figura 1 muestra esquemáticamente una arquitectura típica de una unidad para controlar el funcionamiento de un inversor que acciona un motor eléctrico asíncrono usado para la tracción de un tren;
- la figura 2 muestra esquemáticamente una primera lógica de control para controlar el funcionamiento de un inversor usado para hacer funcionar un motor eléctrico asíncrono usado para la tracción de un tren según la técnica anterior;
- la figura 3 muestra un gráfico temporal de magnitudes características de un motor eléctrico asíncrono de un tren que se hace funcionar por medio de un inversor controlado con la lógica de la figura 2;
- la figura 4 muestra esquemáticamente una segunda lógica de control para controlar el funcionamiento de un inversor usado para hacer funcionar un motor eléctrico asíncrono usado para la tracción de un tren según la técnica anterior;
- la figura 5 muestra un gráfico temporal de magnitudes características de un motor eléctrico asíncrono de un tren que se hace funcionar por medio de un inversor controlado con la lógica de la figura 4;
- la figura 6 muestra esquemáticamente una lógica de control para controlar el funcionamiento de un inversor usado para hacer funcionar un motor eléctrico asíncrono usado para la tracción de un tren según una realización preferida de la presente invención;
- la figura 7 muestra un gráfico temporal de magnitudes características de un motor eléctrico asíncrono de un tren que se hace funcionar por medio de un inversor controlado con la lógica de la figura 6;
- la figura 8 muestra la tendencia de un índice de reducción de los rendimientos en función de la velocidad del tren.

## Descripción detallada de realizaciones preferidas de la invención

La siguiente descripción se proporciona para permitir que un experto en la técnica implemente y use la invención. Diversos cambios en las realizaciones ilustradas serán inmediatamente evidentes para el experto en la técnica y los principios genéricos pueden aplicarse a otras realizaciones y aplicaciones.

Por lo tanto, la presente invención no se limitará a las realizaciones descritas e ilustradas solamente, pero se le dará el alcance de protección más amplio de manera coherente con las características definidas en las reivindicaciones adjuntas. A este respecto, se hará referencia explícita en la siguiente descripción al control y la gestión del funcionamiento de un sistema de accionamiento de tipo inversor usado para hacer funcionar un motor eléctrico asíncrono para la tracción de un vehículo ferroviario, sin que se pierda generalidad, entendiéndose que la presente invención puede usarse para controlar y gestionar el funcionamiento de un sistema de accionamiento de tipo troceador usado para hacer funcionar un motor eléctrico de CC síncrono (es decir, no del tipo de imán permanente) usado para la tracción de un vehículo ferroviario, o, más en general, para el control y la gestión del funcionamiento de uno o más



sistemas de tracción basados en motores eléctricos de cualquier tipo de tren o vehículo ferroviario que no sea del tipo de imán permanente.

Además, cabe señalar que la presente invención puede aprovecharse ventajosamente para controlar y gestionar el funcionamiento de una pluralidad de sistemas de tracción de cualquier tipo de tren.

La presente invención, en virtud de una modificación apropiada realizada en el software de control para controlar un sistema de accionamiento electrónico de un motor eléctrico usado para la tracción de un vehículo ferroviario, permite apagar el sistema de accionamiento electrónico cuando se produce una condición de marcha por inercia (o de marcha con rueda libre) del vehículo ferroviario y volver a encenderlo muy rápidamente cuando se recibe una orden de tracción o frenado.

Más en particular, la presente invención se refiere a una lógica de control para controlar el funcionamiento de un sistema de accionamiento electrónico de un motor eléctrico no del tipo de imán permanente usado para la tracción de un vehículo ferroviario, cuya lógica de control incluye:

- controlar la reducción de flujo magnético del motor cuando se produce una condición de marcha por inercia del vehículo ferroviario para llevar el flujo magnético a menos del 20 % de su valor nominal; y luego
- apagar el sistema de accionamiento electrónico del motor.

Una lógica de control de este tipo, además de ahorrar energía, también permite volver a aplicar par de fuerzas al motor en cualquier instante, también durante la reducción de flujo, y cuando el sistema de accionamiento electrónico está apagado, minimizar los retrasos de esta manera.

A este respecto, la figura 6 es un diagrama de flujo que muestra una lógica de control de software (indicada por el número de referencia 60 en su conjunto) para controlar el funcionamiento de un inversor usado para hacer funcionar un motor eléctrico asíncrono para la tracción de un tren según una realización preferida de la presente invención.

En particular, según dicha realización preferida de la presente invención, la lógica de control 60 se implementa mediante una unidad de control programada por medio de un código de software y/o firmware apropiado. La arquitectura funcional de una unidad de control de este tipo corresponde convenientemente a la de la unidad de control 10 mostrada en la figura 1 y descrita anteriormente, en la que, sin embargo, la lógica de software de funcionamiento del módulo de cálculo de flujo de referencia 13 se modificó apropiadamente.

Como se muestra en la figura 6, al implementar la lógica de control 60, la unidad de control en uso ejecuta todas las operaciones de la lógica 20 mostrada en la figura 2 como se describió anteriormente (con respecto a esto, cabe señalar que los bloques 61, 62, 63, 64 y 65 de la lógica 60 mostrada en la figura 6 corresponden a los bloques 21-25 de la lógica 20 mostrada en la figura 2), que, por lo tanto, no se describirá de nuevo porque la descripción proporcionada anteriormente con este respecto se sigue aplicando.

Además, al implementar la lógica de control 60, la unidad de control, en uso, también realiza las siguientes operaciones adicionales:

- comprobar, basándose en las señales/datos/órdenes recibidos indicativos de una condición de funcionamiento actual del tren, si el tren está en una condición de marcha por inercia (o marcha con rueda libre) (bloque 66);
- si se determina que el tren no está en una condición de marcha por inercia, controlar el funcionamiento del inversor de modo que el motor eléctrico experimente un aumento de flujo magnético (es decir, de modo que aumente la intensidad del flujo magnético del motor eléctrico) y al mismo tiempo calcular un valor de corriente  $F_d$  del flujo magnético del motor eléctrico (bloque 63);
- si, en su lugar, se determina que el tren está en una condición de marcha por inercia, controlar el funcionamiento del inversor de modo que el motor eléctrico experimente una reducción de flujo magnético (es decir, de modo que la intensidad del flujo magnético del motor eléctrico disminuya) y calcular un valor de corriente  $F_d$  del flujo magnético del motor eléctrico al mismo tiempo (bloque 67);
- comprobar si el valor de flujo magnético de corriente  $F_d$  es inferior al 20 % del valor objetivo de referencia  $F_{dRif}$  (bloque 68);
- si se determina que el valor de corriente  $F_d$  del flujo magnético es inferior al 20 % del valor objetivo de referencia  $F_{dRif}$ , generar una orden de apagado del inversor (bloque 69); y,
- si, en su lugar, se determina que el valor de corriente  $F_d$  del flujo magnético no es inferior al 20 % del valor objetivo de referencia  $F_{dRif}$ , continuar controlando el funcionamiento del inversor de modo que el motor eléctrico continúe experimentando una reducción de flujo magnético y continúe calculando el valor de corriente  $F_d$  del flujo magnético

del motor eléctrico al mismo tiempo (bloque 67).

Dicho de otro modo, la lógica de control 60 incluye establecer la corriente de referencia a cero en el instante en el que el esfuerzo es cero. Durante esta etapa, denominada reducción de flujo, la corriente de referencia sigue una ley de tipo exponencial y cuando el valor alcanza el 20 % del valor nominal se establece a cero. El inversor se apaga completamente desde ese momento.

Una vez que el inversor está apagado, la unidad de control enciende de nuevo el inversor cuando recibe una orden de tracción o frenado y comienza la etapa de aumento de flujo de motor. La rampa de esfuerzo comienza a un valor nominal cuando el flujo alcanza el 20 % del flujo nominal (es decir, después de aproximadamente 100 ms).

La rampa de esfuerzo comenzará inmediatamente sin ningún retardo si la orden se recibe desde la unidad de control antes de que el inversor esté completamente apagado.

Dicho de otro modo, la lógica de control 60 incluye controlar la corriente del motor durante la reducción de flujo al 20 % del flujo nominal de modo que el par de fuerzas pueda volver a aplicarse instantáneamente si se solicita. Sin usar la lógica de control 60, no sería posible aplicar par de fuerzas instantáneamente porque no se conoce la posición del flujo del rotor, y esta condición podría provocar una sobrecorriente con el apagado del inversor correspondiente hasta que el conductor del tren y/o la lógica del tren restablezcan la protección.

Por lo tanto, los cambios realizados según la presente invención al módulo de cálculo de flujo de referencia permiten, durante la fase de marcha por inercia, enganchar la corriente de inversor inmediatamente después del apagado.

Según la descripción anterior, la lógica de control 60, además de ahorrar energía, permite también volver a aplicar el par de fuerzas de motor en cualquier instante, tanto durante la reducción de flujo como con el inversor apagado, minimizando de esta manera los retrasos que en el pasado no permitían aplicar la técnica de marcha por inercia con el inversor apagado a tranvías y vehículos de tren subterráneo. Por lo tanto, la lógica de control 60 permite aplicar la técnica de marcha por inercia con el inversor apagado también a tranvías y vehículos de tren subterráneo.

El solicitante ha estimado que, en virtud del uso de la lógica de control 60 que permite apagar el inversor durante la marcha por inercia, es posible obtener una reducción de la energía global consumida en el pantógrafo igual al 5 % para un servicio de transporte regional.

La figura 7 muestra un gráfico que se obtuvo por el solicitante por medio de pruebas experimentales y que muestra la tendencia temporal de las magnitudes características de un motor eléctrico asíncrono de un tren que se hace funcionar por medio de un inversor controlado con la lógica 60 cuando se produce una condición de marcha por inercia del tren.

En particular, la figura 7 muestra la tendencia temporal:

- de la corriente extraída de la línea  $i_{Lin}$ ;
- de la tensión de filtro  $v_{FIL}$ ;
- de la corriente de motor  $I_{mot}$ ;
- de la velocidad de tren  $velocidad$ ;
- de la aceleración de tren  $acel$ ;
- del par de fuerzas de motor  $Par$ ;
- de la corriente de referencia  $I_{Rif}$ ;
- de la referencia de esfuerzo  $rifman$ , que indica el porcentaje de esfuerzo máximo que puede alcanzar el inversor; y
- del esfuerzo  $DelivEff$  calculado basándose en el peso del tren y de la referencia de esfuerzo  $rifman$ .

Dos regiones del gráfico mostrado en la figura 7 están resaltadas por medio de dos elipses.

En detalle, con referencia al área resaltada a la izquierda, cabe señalar que en un primer instante de tiempo  $t_1$  en el que se recibe una señal/orden de marcha por inercia, el par de fuerzas de motor  $Par$  va a cero y la corriente de referencia  $I_{Rif}$  comienza a disminuir para la reducción de flujo de motor. Además, cuando en un segundo instante de tiempo  $t_2$ , la unidad de control recibe una señal/orden de tracción, la corriente de referencia  $I_{Rif}$  y el par de fuerzas de motor  $Par$  comienzan a aumentar inmediatamente. En este caso, el inversor no se apaga por completo porque la unidad de control recibe la señal/orden de tracción antes del apagado completo del inversor.

Además, con referencia al área resaltada a la derecha, cabe señalar que cuando se recibe una señal/orden de marcha por inercia, la unidad de control inicia la reducción de flujo de motor hasta que la corriente de magnetización es cero; en este punto, puesto que persiste la condición de marcha por inercia, el inversor está completamente apagado. Cuando se recibe una señal/orden de tracción, el inversor se enciende instantáneamente; comienza así la etapa de aumento de flujo del motor. Cuando el flujo alcanza el 20 % del valor nominal, el par de fuerzas de motor *Par* comienza a aumentar hasta el valor de referencia.

La lógica de gestión de marcha por inercia ferroviaria innovadora descrita anteriormente también puede extenderse ventajosamente al nivel del tren ferroviario considerando la gestión de velocidad límite a bordo. De hecho, en un tren de tracción distribuida, cada unidad de control del funcionamiento de un sistema de accionamiento electrónico de un motor de tracción electrónico recibe generalmente las órdenes de tracción y frenado, la referencia de esfuerzo y el límite de velocidad del sistema de control de circulación de vehículo ferroviario. Por lo tanto, cada unidad de control del funcionamiento de un sistema de accionamiento electrónico que funciona para la tracción ajusta el esfuerzo aplicado en la tracción también en función del límite de velocidad. Normalmente, cuando la velocidad de tren es mayor que la velocidad límite menos 3 km/h, la unidad de control reduce el esfuerzo en etapas porcentuales a cero en la velocidad límite y para velocidades más altas, como se muestra en el gráfico de la figura 8 en el que *veLim* indica el límite de velocidad y el índice de reducción de rendimiento representa el porcentaje de esfuerzo aplicado con respecto al solicitado.

Actualmente, con el fin de mantener la velocidad límite, todos los sistemas de accionamiento electrónico se dejan encendidos, aunque el esfuerzo total requerido del vehículo sea menor que el disponible para un único sistema de accionamiento electrónico.

Por lo tanto, la presente invención también se refiere a la idea de explotar la lógica de encendido rápido innovadora del sistema de accionamiento electrónico descrito anteriormente también para gestionar la solicitud de esfuerzo del vehículo durante la circulación a velocidad constante del tren para mantener encendidos solo los sistemas de accionamiento electrónico que realmente se necesitan. A este respecto, cabe señalar que el algoritmo es aplicable para tracción, mientras que no puede usarse para frenado con el fin de no impactar en los sistemas de gestión de frenos neumáticos o hidráulicos combinados.

En particular, la presente invención se refiere a un sistema de control para controlar el funcionamiento de sistemas electrónicos de accionamiento de motores eléctricos usados para tracción de tren, cuyo sistema comprende:

- para cada sistema de accionamiento electrónico, una unidad de control correspondiente diseñada para hacerse funcionar como se describió anteriormente en relación con la gestión de una condición de marcha por inercia según la presente invención; y

- una unidad de control central para controlar el funcionamiento del tren que está conectada a todas las unidades de control mencionadas anteriormente de los sistemas de accionamiento electrónico y está configurada para:

- seleccionar uno o más sistemas de accionamiento para hacerse funcionar según las cantidades indicativas de una solicitud de esfuerzo calculada como el producto del peso actual del tren con respecto al peso máximo por la referencia de porcentaje de esfuerzo por el esfuerzo máximo del tren y un esfuerzo disponible de cada sistema de accionamiento, que considera las limitaciones de potencia máxima y par de fuerzas máximo establecidas por el sistema de accionamiento electrónico para garantizar el respeto del rendimiento térmico sin activar las protecciones,

- enviar órdenes de marcha por inercia a las unidades de control de los sistemas de accionamiento no seleccionados, y

- enviar órdenes de tracción a las unidades de control electrónicas de los sistemas de accionamiento seleccionados.

Dicho de otro modo, en uso, la unidad de control calcula el número de sistemas de accionamiento electrónico que van a encenderse según la solicitud de esfuerzo y el esfuerzo disponible para cada uno de los sistemas de accionamiento electrónico. Por ejemplo, en un tren con cuatro sistemas de accionamiento electrónico, si se requiere un esfuerzo inferior al 25 %, la unidad de control central requiere el encendido de un solo sistema de accionamiento electrónico, desde el 25 % hasta el 50 % de dos sistemas de accionamiento electrónico y así sucesivamente hasta cuatro sistemas de accionamiento electrónico cuando el esfuerzo requerido es desde el 75 % hasta el 100 %.

Además, según la presente invención, la unidad de control de cada sistema de accionamiento electrónico también está configurada para:

- determinar la aparición de una condición de marcha por inercia si recibe una orden de marcha por inercia desde la unidad de control central; y

- determinar la aparición de una condición de salida desde la condición de marcha por inercia si recibe una orden de tracción desde la unidad de control central.

Por lo tanto, de esta manera, la unidad de control de cada sistema de accionamiento electrónico provoca una reducción de flujo del motor electrónico respectivo cuando recibe una orden de marcha por inercia de la unidad de control central y apaga el sistema de accionamiento electrónico respectivo cuando el flujo magnético disminuye por debajo del 20 % del valor de referencia de flujo.

Además, la unidad de control de cada sistema de accionamiento electrónico realiza una de las siguientes operaciones (descritas anteriormente) cuando se recibe una orden de tracción desde la unidad de control central:

- si el sistema de accionamiento electrónico respectivo está encendido, generar una orden para aumentar el par de fuerzas de accionamiento del motor eléctrico respectivo;

- si el sistema de accionamiento electrónico respectivo está apagado, provocar un aumento de flujo del motor eléctrico respectivo y, cuando el valor de flujo magnético exceda el 20 % del valor de referencia de flujo, generar una orden para aumentar el par de fuerzas de accionamiento del motor eléctrico respectivo.

Esta solución, actualmente no implementada en ningún vehículo ferroviario, permite reducir la potencia consumida en el pantógrafo en un 3 % (datos obtenidos por el solicitante por medio de simulaciones realizadas en un vehículo de tipo subterráneo).

Un ahorro de energía de este tipo se obtiene en virtud del apagado masivo de los sistemas de accionamiento electrónico no requeridos, apagado que permite reducir drásticamente las pérdidas de convertidor de tracción.

La unidad de control central puede controlar además el encendido cíclico de los sistemas de accionamiento electrónico, reduciendo de esta manera la corriente térmica de línea trazada por cada sistema de accionamiento electrónico, obteniendo así:

- una reducción de la potencia de enfriamiento requerida, que adicionalmente permite usar sistemas de refrigeración más pequeños; y

- un aumento del tiempo medio promedio entre fallos (MTBF) de los sistemas de accionamiento electrónico en virtud de una reducción de las horas de funcionamiento (siendo iguales las horas de servicio del vehículo ferroviario).

Cabe señalar en este caso que el sistema de control según la presente invención puede aprovecharse ventajosamente para controlar y gestionar el funcionamiento de una pluralidad de sistemas de tracción de cualquier tipo de tren.

Las ventajas de la invención pueden entenderse fácilmente a partir de la descripción anterior.

En particular, cabe señalar una vez más el hecho de que esta invención permite reducir el consumo de energía de los vehículos ferroviarios dotados de sistemas de tracción eléctrica eliminando las pérdidas de corriente magnetizadoras en los sistemas de accionamiento electrónico de los motores eléctricos y en los propios motores durante las fases de marcha por inercia de dichos vehículos.

En detalle, la presente invención permite obtener las siguientes ventajas técnicas:

- un aumento de la eficiencia operativa del sistema de tracción eléctrico de los vehículos ferroviarios;

- una reducción de consumos de energía, por ejemplo, una reducción de la energía consumida en el pantógrafo por los vehículos ferroviarios (por ejemplo, trenes, trenes subterráneos, tranvías, etc.);

- una reducción de contaminación acústica.

Además, la presente invención, al implementar una gestión optimizada de los dispositivos ya existentes en el vehículo y los flujos de energía entre ellos por medio del uso de técnicas de software de control innovadoras como se ha descrito anteriormente, permite obtener mejores prestaciones sin requerir cambios en los vehículos, y, por lo tanto, sin costes adicionales o tiempos de desarrollo derivados de la introducción de nuevas tecnologías de hardware.

Cabe enfatizar una vez más el hecho de que la presente invención puede aprovecharse ventajosamente para controlar y gestionar el funcionamiento de:

- sistemas de accionamiento de tipo inversor usados para hacer funcionar motores eléctricos asíncronos; y

- sistemas de accionamiento de tipo troceador usados para hacer funcionar motores eléctricos de CC síncronos.

A este respecto, cabe mencionar que el uso de la presente invención no es particularmente ventajoso en el caso de motores síncronos de imán permanente porque tales motores eléctricos ya implementan intrínsecamente un control

automático de flujo magnético.

- 5 Además, la presente invención puede aprovecharse ventajosamente para controlar y gestionar el funcionamiento de sistemas de accionamiento electrónico de los motores eléctricos utilizados para la tracción de vehículos ferroviarios de cualquier tipo, tales como trenes de tránsito de masas, trenes de unidades múltiples eléctricas (EMU), trenes de tracción pesados, trenes de alta velocidad, trenes de larga distancia, trenes subterráneos, trenes regionales, tranvías con o sin conductor, etc.

## REIVINDICACIONES

1. Tren de tracción distribuida que comprende:

- 5 • una pluralidad de sistemas de tracción, incluyendo cada uno un motor eléctrico respectivo que puede hacerse funcionar mediante un sistema de accionamiento electrónico respectivo, en el que el motor eléctrico respectivo es un motor asíncrono y el sistema de accionamiento electrónico respectivo es un sistema de inversor, o el motor eléctrico respectivo es un motor de CC síncrono y el sistema de accionamiento electrónico respectivo es un sistema de tipo troceador;
- 10 • para cada sistema de tracción, una unidad de control electrónica respectiva acoplada a dicho sistema de tracción; y
- 15 • una unidad de control central que está conectada a las unidades de control electrónicas de los sistemas de tracción y está configurada para
  - recibir cantidades indicativas de una solicitud de esfuerzo para el tren de tracción distribuida y de un esfuerzo disponible para cada sistema de tracción,
  - 20 - seleccionar uno o más sistemas de tracción basándose en las cantidades recibidas,
  - enviar órdenes de tracción a las respectivas unidades de control electrónicas de los sistemas de tracción seleccionados, y
  - 25 - enviar órdenes de marcha por inercia a las respectivas unidades de control electrónicas de los sistemas de tracción no seleccionados;
 en el que, para cada sistema de tracción, la unidad de control electrónica respectiva está configurada para:
  - 30 • determinar la aparición de una condición de marcha por inercia si recibe una orden de marcha por inercia desde la unidad de control central;
  - si determina la aparición de la condición de marcha por inercia, controlar el funcionamiento del sistema de accionamiento electrónico respectivo para hacer que el motor eléctrico respectivo experimente una reducción de flujo magnético (bloque 67);
  - 35 • determinar la aparición de una condición de salida desde la condición de marcha por inercia si recibe una orden de tracción desde la unidad de control central;
  - si determina la aparición de la condición de salida, determinar si el sistema de accionamiento electrónico respectivo está encendido o apagado (bloque 64), en el que está configurado para determinar que el sistema de accionamiento electrónico respectivo está
    - 40 - encendido si el flujo magnético del motor eléctrico respectivo excede un umbral de flujo magnético, o
    - 45 - apagado si el flujo magnético del motor eléctrico respectivo es inferior a dicho umbral de flujo magnético;
  - si determina la aparición de la condición de salida y también determina que el sistema de accionamiento electrónico respectivo está encendido, hacer que el par de fuerzas del motor eléctrico respectivo comience a aumentar (bloque 65);
  - 50 • si determina la aparición de la condición de salida y también determina que el sistema de accionamiento electrónico respectivo está apagado, encender dicho sistema de accionamiento electrónico respectivo, controlar el funcionamiento de dicho sistema de accionamiento electrónico respectivo de modo que el motor eléctrico respectivo experimenta un aumento de flujo magnético (bloque 63) y, durante dicho aumento de flujo magnético del motor eléctrico respectivo,
    - 55 - monitorizar el flujo magnético del motor eléctrico respectivo (bloque 63),
    - 60 - determinar si el flujo magnético del motor eléctrico respectivo excede dicho umbral de flujo magnético (bloque 64) y,
    - si determina que el flujo magnético del motor eléctrico respectivo ha excedido dicho umbral de flujo magnético, hacer que el par de fuerzas del motor eléctrico respectivo comience a aumentar (bloque 65); y,
    - 65 para cada sistema de tracción, la unidad de control electrónica respectiva está configurada, durante la

reducción de flujo magnético del motor eléctrico respectivo debido a la aparición de la condición de marcha por inercia, para:

- monitorizar el flujo magnético del motor eléctrico respectivo (bloque 67);

- determinar si el flujo magnético del motor eléctrico respectivo disminuye por debajo del umbral de flujo magnético (bloque 68); y,

- si detecta que el flujo magnético del motor eléctrico respectivo ha disminuido por debajo de dicho umbral de flujo magnético, apagar el sistema de accionamiento electrónico respectivo (bloque 69).

2. El tren de tracción distribuida según la reivindicación 1, en el que, para cada sistema de tracción, la unidad de control electrónica respectiva está configurada además para:

- calcular un valor de flujo magnético de onda cuadrada ( $F_{dq}$ ) basándose en magnitudes indicativas de una tensión de suministro ( $v_{FIL}$ ) del respectivo sistema de tracción y de una frecuencia de suministro ( $f_{real}$ ) del motor eléctrico respectivo (bloque 61);

- calcular un valor objetivo de referencia de flujo magnético ( $F_{dRif}$ ) basándose en el valor de flujo magnético de onda cuadrada ( $F_{dq}$ ) y de un valor nominal de flujo magnético predeterminado ( $F_{dNom}$ ) (bloque 62); y

- calcular el umbral de flujo magnético basándose en el valor objetivo de referencia de flujo magnético ( $F_{dRif}$ ).

3. Sistema de control electrónico diseñado para instalarse a bordo de un tren de tracción distribuida que comprende una pluralidad de sistemas de tracción, incluyendo cada uno un motor eléctrico respectivo que puede hacerse funcionar mediante un sistema de accionamiento electrónico respectivo, en el que el motor eléctrico respectivo es un motor asíncrono y el sistema de accionamiento electrónico respectivo es un sistema de inversor, o el motor eléctrico respectivo es un motor de CC síncrono y el sistema de accionamiento electrónico respectivo es un sistema de tipo troceador;

comprendiendo dicho sistema de control electrónico:

- para cada sistema de tracción, una primera unidad de control electrónica respectiva, que está acoplada a dicho sistema de tracción y está configurada como las unidades de control electrónicas de los sistemas de tracción del tren de tracción distribuida reivindicado en la reivindicación 1 o 2; y

- una segunda unidad de control electrónica, que está conectada a las primeras unidades de control electrónicas y está configurada como la unidad de control central del tren de tracción distribuida reivindicado en la reivindicación 1 o 2.

4. Producto de programa informático que comprende partes de código de software diseñadas para ejecutarse por unidades de control electrónicas de un tren de tracción distribuida, comprendiendo dicho tren de tracción distribuida:

- una pluralidad de sistemas de tracción, incluyendo cada uno un motor eléctrico respectivo que puede hacerse funcionar mediante un sistema de accionamiento electrónico respectivo, en el que el motor eléctrico respectivo es un motor asíncrono y el sistema de accionamiento electrónico respectivo es un sistema de inversor, o el motor eléctrico respectivo es un motor de CC síncrono y el sistema de accionamiento electrónico respectivo es un sistema de tipo troceador;

- para cada sistema de tracción, una primera unidad de control electrónica respectiva acoplada a dicho sistema de tracción; y

- una segunda unidad de control electrónica conectada a las primeras unidades de control electrónicas;

comprendiendo dichas partes de código de software:

- primeras partes, que están diseñadas para ejecutarse por cada una de las primeras unidades de control electrónicas y son de tal manera que provocan que, cuando se ejecutan, cada primera unidad de control electrónica pasa a configurarse como las unidades de control electrónicas de los sistemas de tracción del tren de tracción distribuida reivindicado en la reivindicación 1 o 2; y

- segundas partes de software, que están diseñadas para ejecutarse por la segunda unidad de control electrónica y son de tal manera que provocan que, cuando se ejecutan, dicha segunda unidad de control electrónica pasa a configurarse como la unidad de control central del tren de tracción distribuida reivindicado en la reivindicación 1 o 2.

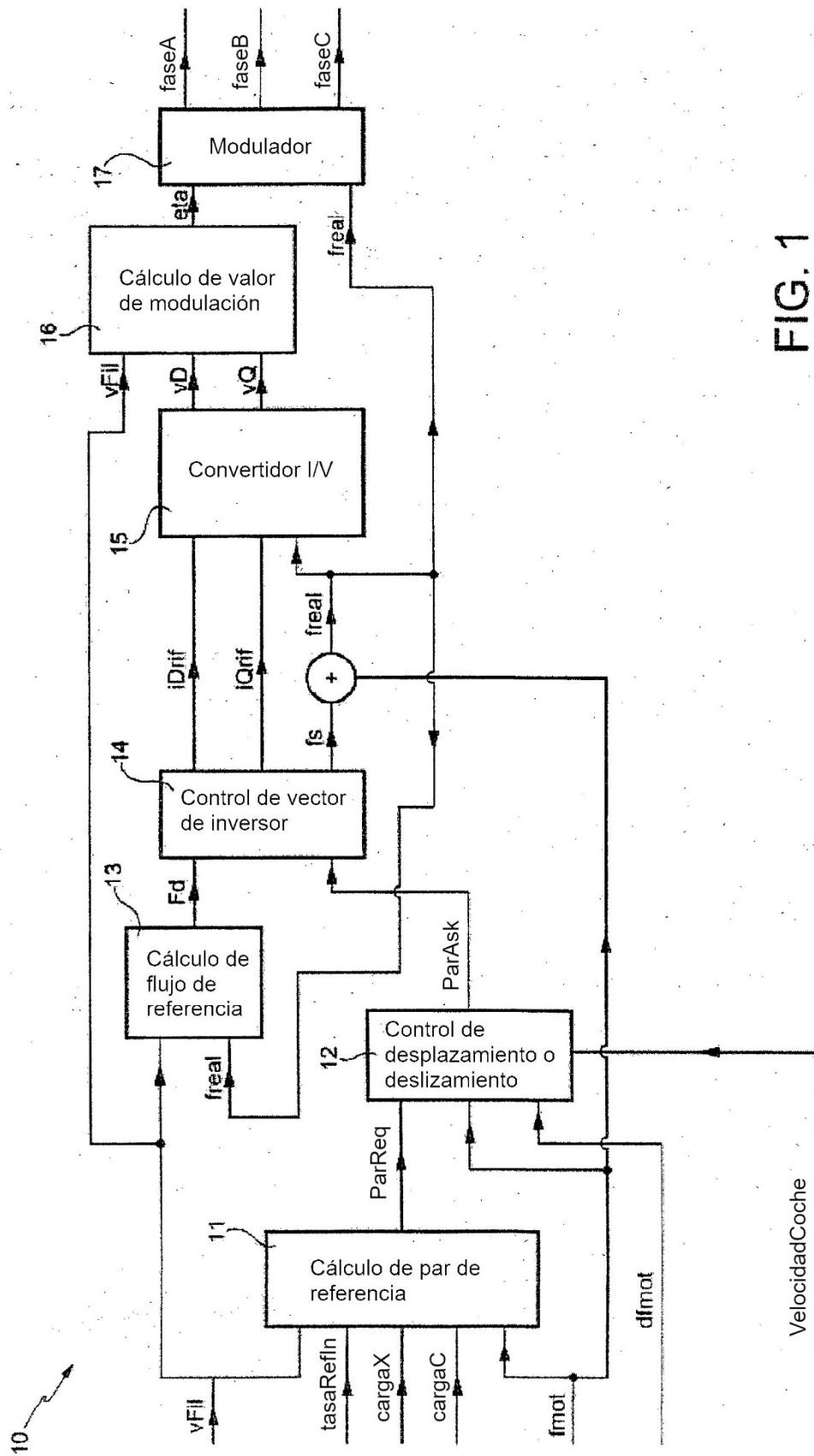
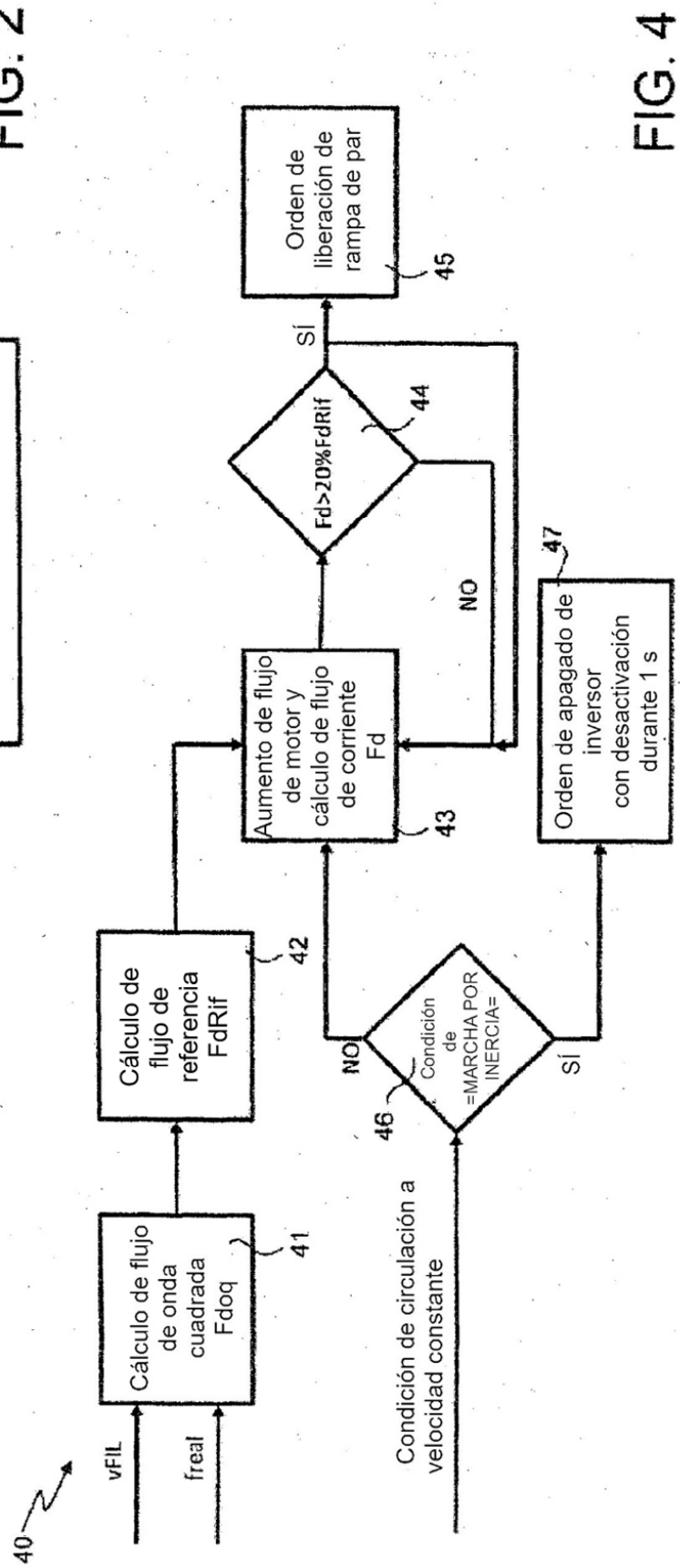
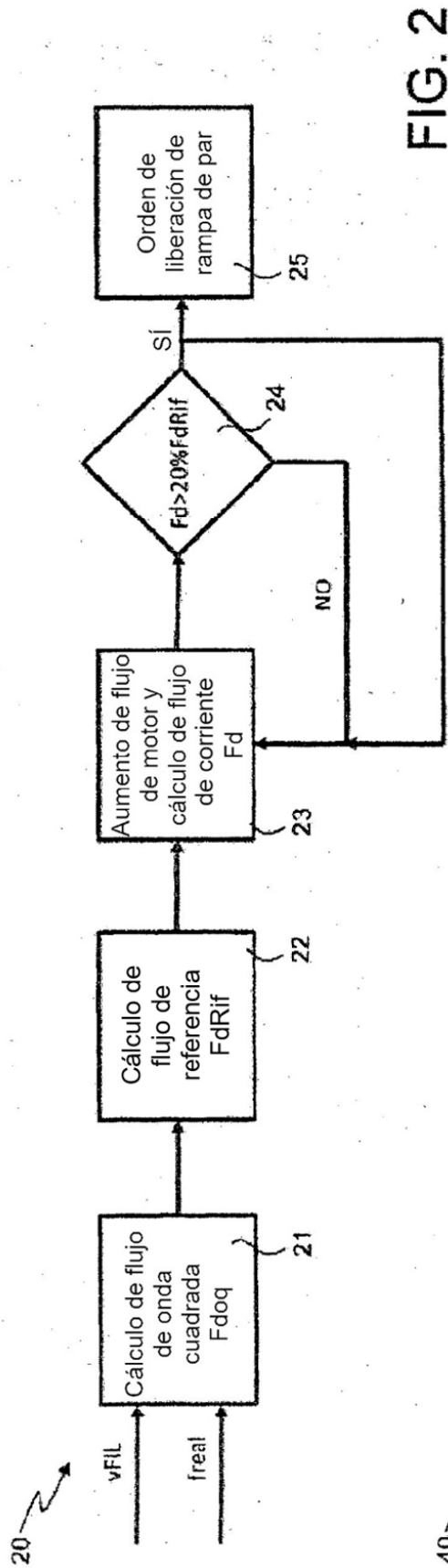


FIG. 1





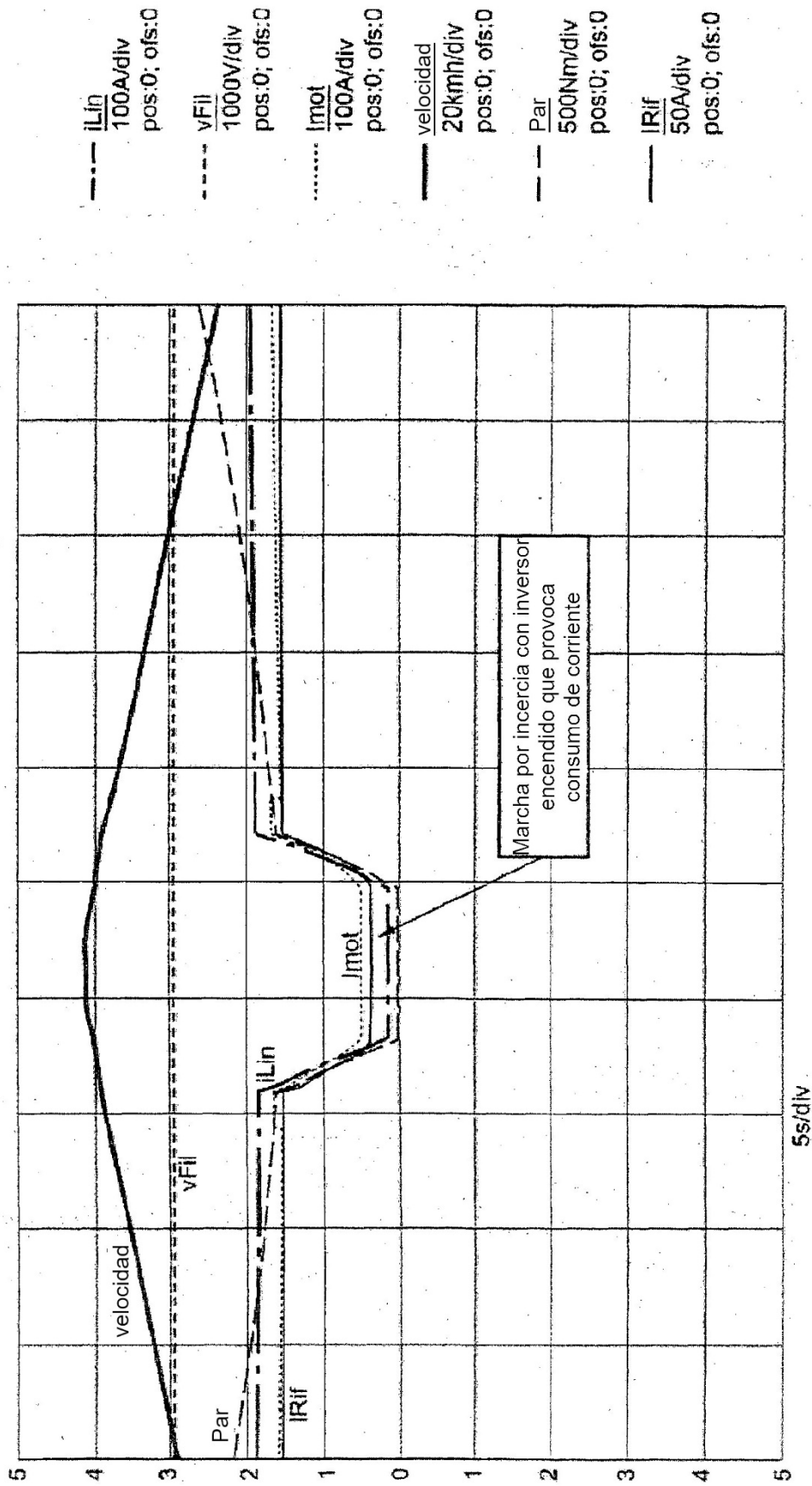


FIG. 3

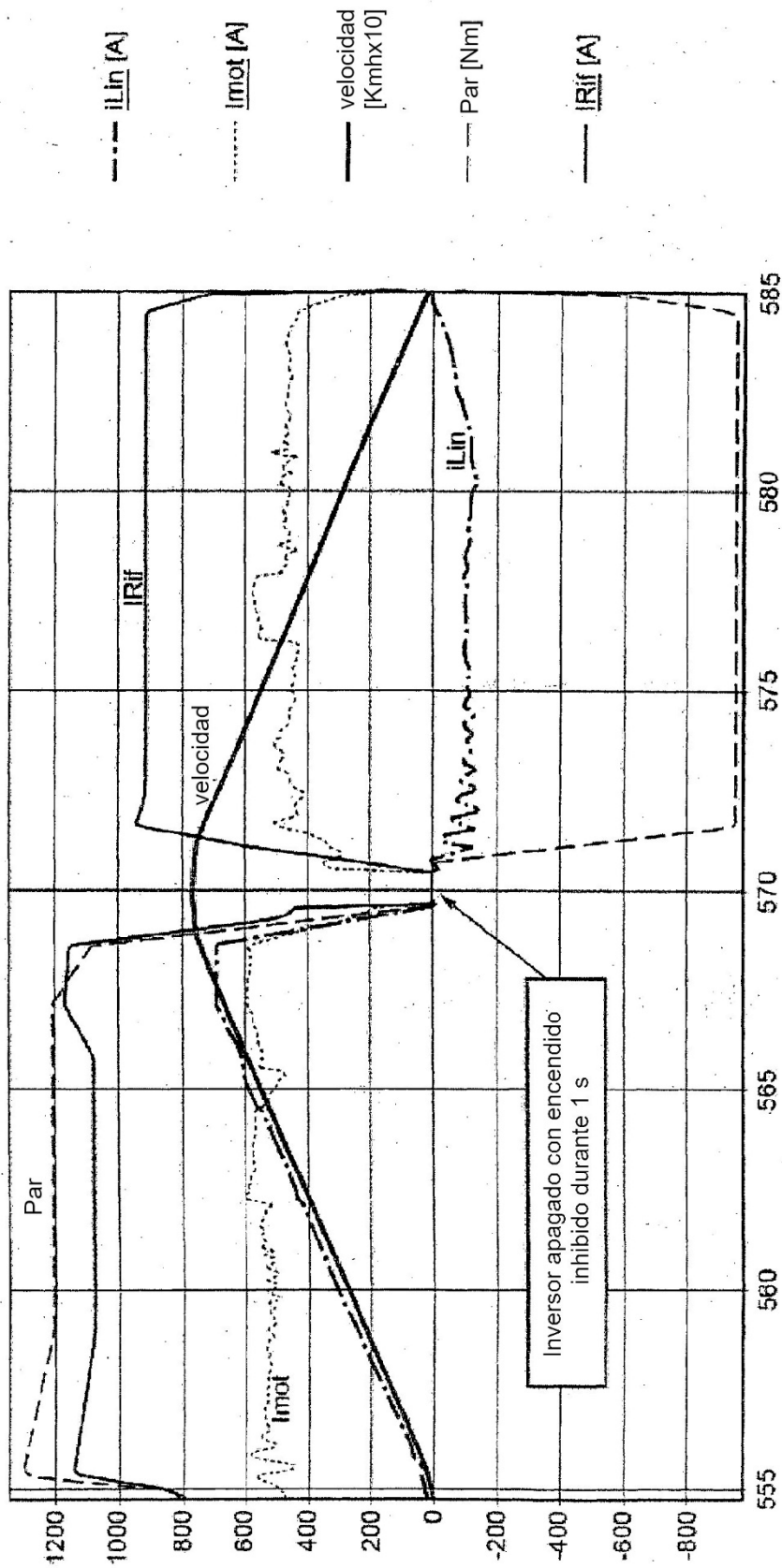
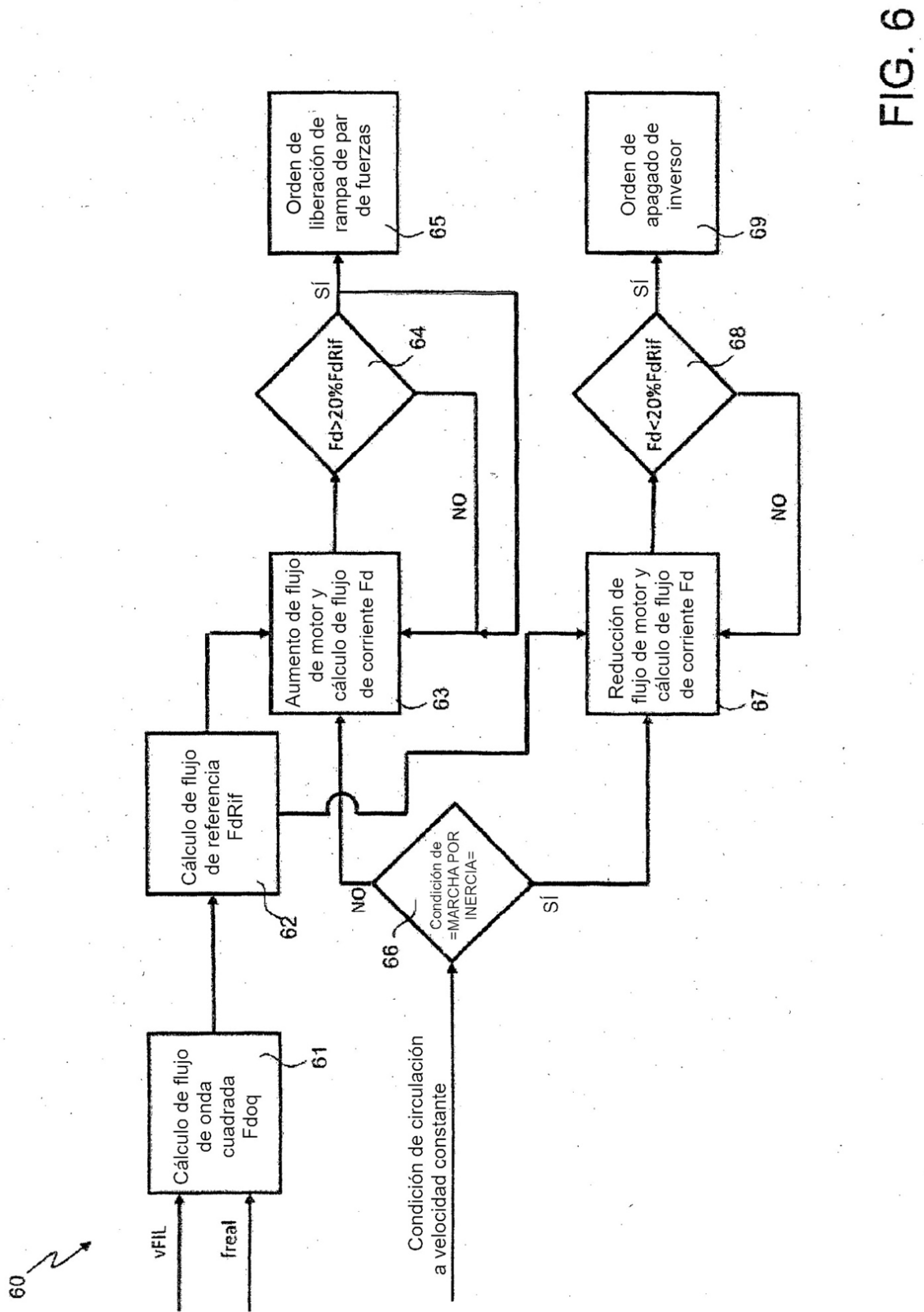


FIG. 5



--- I<sub>lin</sub> 100A/div pos:-2; ofs:0  
 --- v<sub>fil</sub> 100V/div pos:-4; ofs:0  
 ..... I<sub>mot</sub> 200A/div pos:0; ofs:0  
 — velocidad 10kmh/div pos:-4; ofs:0  
 — Par 200Nm/div pos:0; ofs:0  
 — I<sub>Rif</sub> 100A/div pos:0; ofs:0  
 —○ rifman 50/div pos:-4; ofs:0  
 -...- acel 0,5/div pos:0; ofs:0  
 —● DelivEff 10kN/div pos:0; ofs:0

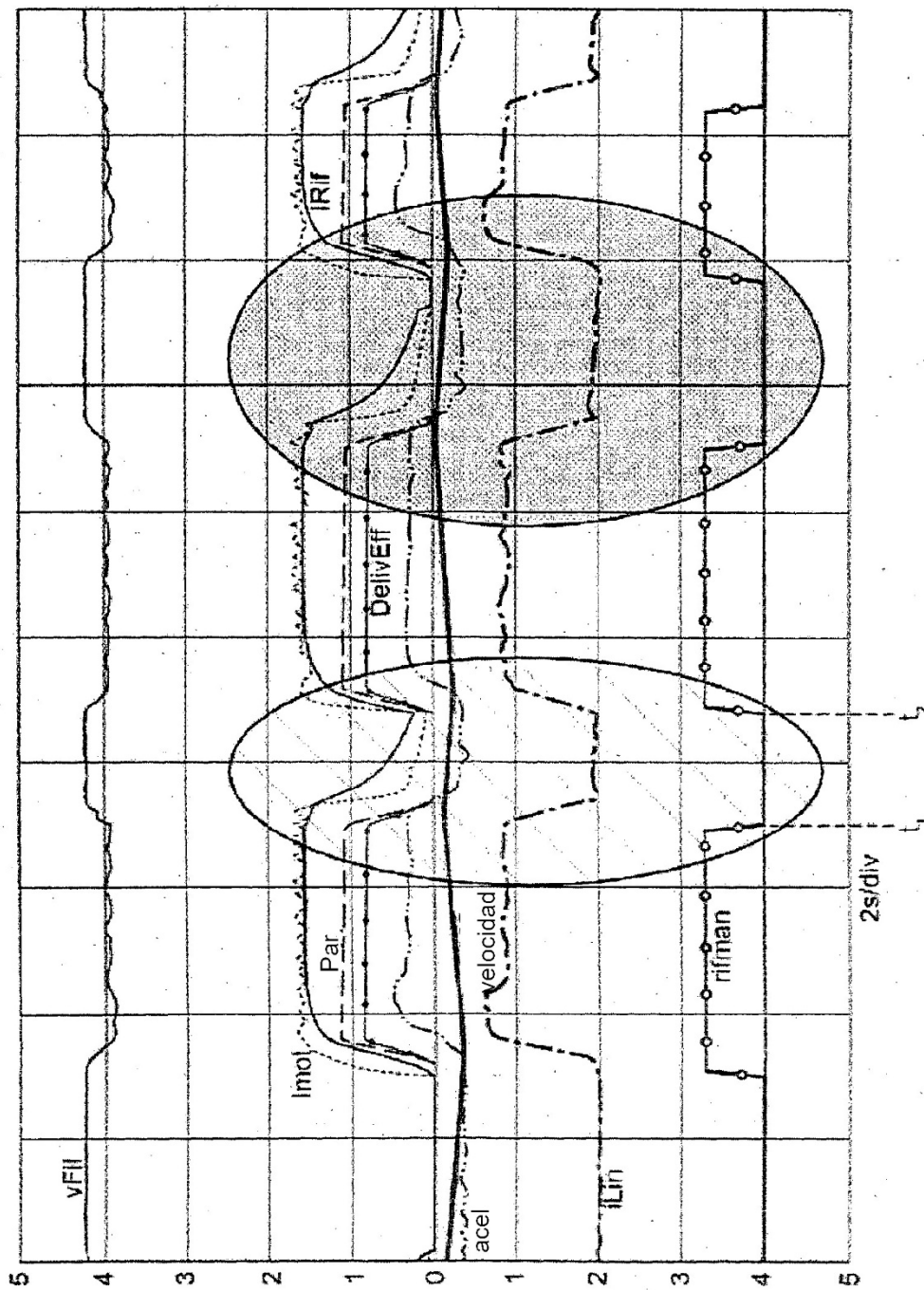


FIG. 7

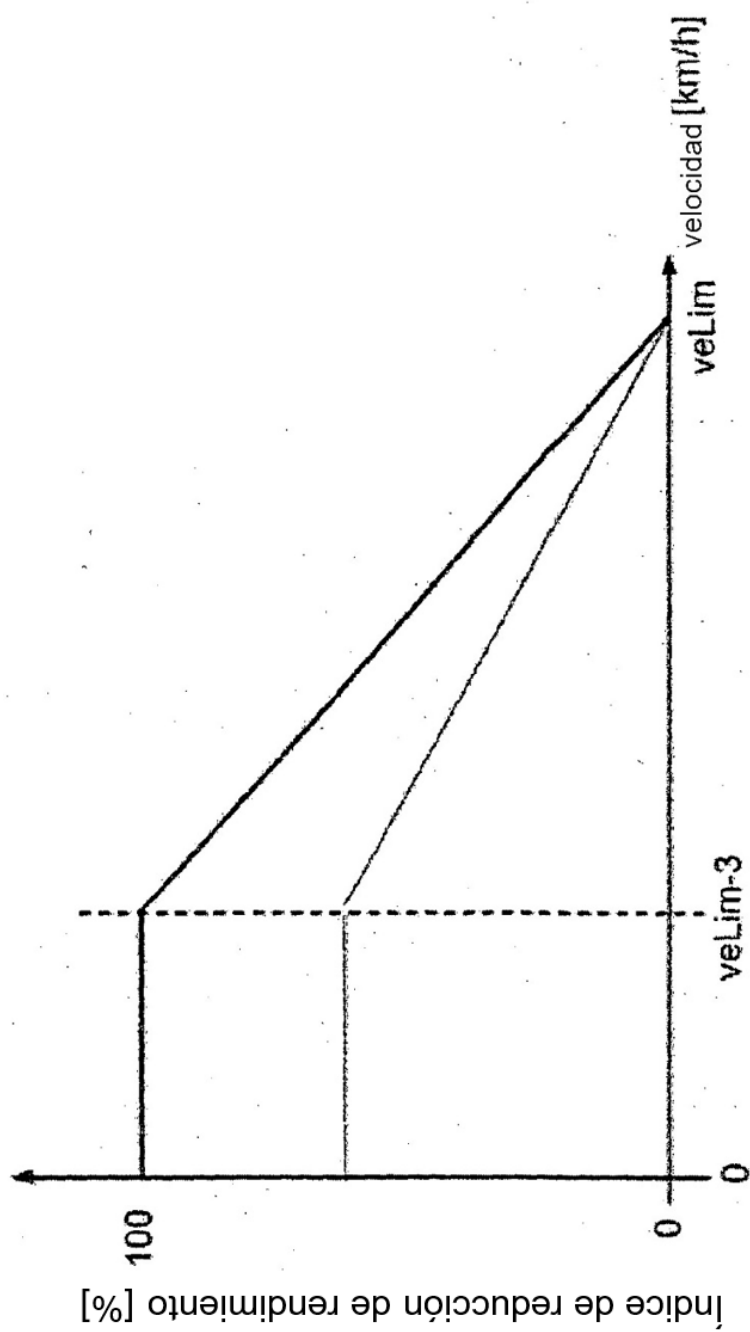


FIG. 8